

ВПЛИВ СТАБІЛЬНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ У ДЕРЕВООБРОБЦІ

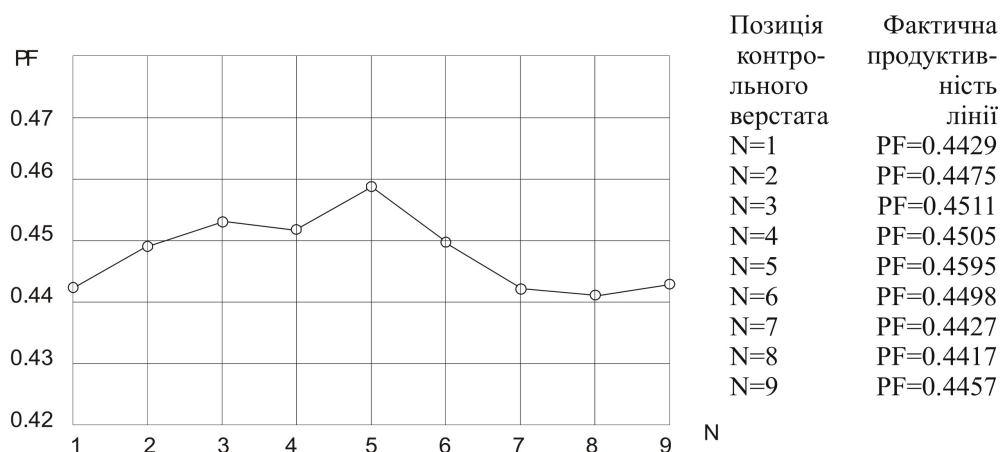
Виконано дослідження впливу стабільності технологічних операцій та місця розташування верстатів з різною стабільністю і надійністю на ефективність роботи автоматичних ліній. За допомогою імітаційного моделювання процесів функціонування автоматичних ліній, які складаються з верстатів різної продуктивності, досліджено вплив стабільності роботи устаткування на продуктивність виробничої системи у стохастичних умовах. Підвищення продуктивності автоматичних ліній здійснюють за допомогою розроблення оптимальних схем компонування обладнання, структурно-параметричної оптимізації та схем резервування. Метою дослідження є встановлення характеру впливу стабільності технологічних операцій на продуктивність автоматичної лінії в умовах випадкової зміни тривалості технологічних операцій. У стохастичних задачах дослідження операцій надто важко отримати аналітичні залежності якісних показників технологічного процесу від умов функціонування обладнання. Для реалізації поставленої мети застосовано універсальний метод статистичного моделювання, за допомогою якого змодельовано на комп'ютері процес роботи автоматичних ліній. Детальні дослідження процесу роботи автоматичних ліній зі стохастичною тривалістю технологічних операцій дають можливість науково обґрунтувати досвід експлуатації деревообробного устаткування та створити умови для проектування оптимальних автоматизованих систем за показниками продуктивності, надійності та економічної ефективності та визначати шляхи підвищення продуктивності автоматичних ліній шляхом проведення техніко-організаційних заходів. Компонування автоматичних ліній новими високопродуктивними верстатами є одним із напрямів покращення продуктивності роботи ліній, але не завжди економічно виправданим, тому що не усуває, а тільки послаблює вплив випадкових факторів на ефективність функціонування технологічного процесу та створює появу складніших за своєю природою стохастичних факторів. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є забезпечення максимальної ритмічності роботи діючих верстатів в автоматичних лініях за допомогою підвищення стабільності роботи устаткування.

Ключові слова: імітаційне моделювання, параметр Ерланга; стабільність роботи; стохастичні умови, структурно-параметрична оптимізація технологічних ліній, продуктивність автоматичної лінії.

Вступ. Проблеми вибору і узгодження розташування верстатів з різною стабільністю технологічних операцій в автоматичних лініях привертають увагу, тому що від їх вирішення значно залежить ефективність використання автоматичних ліній у деревообробному виробництві. На виробничій дільниці у цеху використовуються верстати з різною стабільністю технологічних операцій. Коефіцієнти стабільності на технологічних операціях значно відрізняються між собою. Деякі технологічні операції мають високу стабільність інші технологічні операції виконуються з меншою стабільністю і параметр Ерланга близький до одиниці. Виникає завдання порівняння технологічних операцій, які є менш стабільними із технологічними операціями, які є більш стабільними. У виробничих цехах використовуються автоматичні лінії, які мають різну кількість верстатів, але на підприємствах через великі капіталовкладення встановлюють обмежену кількість верстатів. Щоб забезпечити нормальну роботу технологічної лінії відводять виробничі площі для накопичування великої кількості заготовок, тобто здійснюють технологічні розриви за допомогою збільшення розмірів міжопераційних запасів на виробничій дільниці, з метою пом'якшення впливу нестабільності роботи технологічного устаткування. Для визначення місць розташування, у яких доцільно виконувати розрив технологічної лінії, а також розміщення місць де мають знаходитися верстати із різним ступенем стабільності проводилось дослідження даного завдання і розроблення рекомендацій підвищення ефективності автоматичних ліній. Кількісно ефективність автоматичних ліній

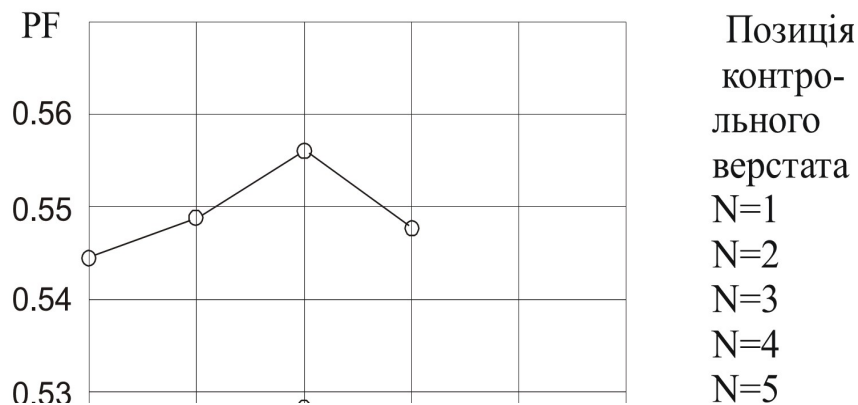
оцінюють за допомогою їх фактичної продуктивності [1], за допомогою коефіцієнтів використання робочого часу верстатів у технологічній лінії, і за допомогою економічних показників, витрат на виготовлення одиниці продукції та іншими комплексними показниками. Розв'язування даного завдання передбачає визначення впливу місця розміщення верстатів із стабільним циклом у технологічній лінії, у якій працюють верстати із нестабільним циклом на зміну фактичної продуктивності лінії (PF). Коефіцієнти використання робочого часу верстатів (ρ) також будуть змінюватися. Наявність великої кількості факторів, в тому числі випадкових, які впливають на процес функціонування ліній, зумовили використання імітаційного моделювання [2, 4] для дослідження роботи технологічних ліній. Використовуючи розроблену імітаційну модель виконано серію кібернетичних експериментів, з метою визначення випадкового впливу або стабільного характеру тривалості циклу на продуктивність автоматичної лінії. Моделювалась робота автоматичної лінії, яка складається з верстатів із нестабільним циклом роботи, тобто таких, які зазнають сильних випадкових впливів, коефіцієнт Ерланга дорівнює одиниці ($K=1$). В автоматичну лінію вводився один верстат, який має детерміновану тривалість інтервалів випуску та високий коефіцієнт стабільності, тобто коефіцієнт Ерланга є великим ($K \rightarrow \infty$). Переміщаючи цей верстат від початку до кінця автоматичної лінії, досліджувалась робота всієї лінії та зміни, які виникали у процесі функціонування лінії. Кількість верстатів в автоматичній лінії могла бути різною (рис. 1, а). За результатами імітаційного моделювання встановлено, що верстат із стабільним циклом, як правило, має один з найвищих коефіцієнтів використання робочого часу серед інших верстатів. При незначному підвищенні стабільності технологічних операцій ($K=5$) коефіцієнти використання робочого часу усіх верстатів зростають. Звідси можна зробити висновок, що при введенні у технологічну лінію операцій із стабільним циклом взагалі підвищуються коефіцієнти використання усіх верстатів. Розташування верстату із стабільним циклом якомога ближче до середини лінії найбільше підвищує коефіцієнти використання інших верстатів і продуктивність лінії в цілому (рис. 1, б).

Тому при проектуванні автоматичних ліній доцільно підсилювати лінію у центрі за допомогою встановлення високостабільного верстата, що дає змогу підвищити продуктивність цілої лінії. Запропонована рекомендація буде корисною для технологічних ліній деревообробного виробництва. Крім цього, проводились дослідження впливу місця розташування необхідних технологічних розривів або збільшених міжопераційних запасів на продуктивність автоматичної лінії. Кібернетичні експерименти проводилися для технологічних ліній з верстатів у два етапи. Спочатку розглядалась автоматична лінія верстатів із стабільним циклом роботи ($K \rightarrow \infty$), в якій один нестабільний верстат ($K=1$) переміщається вздовж лінії, а потім навпаки, коли всі верстати нестабільні, а один з них, який переміщається стабільний (рис. 2.).



а). Місце розташування стабільного верстату серед нестабільних (для 9)

Місце розташування стабільного верстата
серед нестабільних (для 9 верстатів).



б). Місце розташування стабільного верстату серед нестабільних (для 4 та 5)

Рис. 1. Залежність фактичної продуктивності автоматичної лінії від місця розташування верстата із стабільним циклом роботи серед верстатів нестабільних

За результатами досліджень можна рекомендувати, що для автоматичних ліній у яких усі верстати працюють із стабільним циклом роботи, тільки один із нестабільним циклом, необхідні технологічні розриви лінії або збільшення міжопераційних запасів можна створювати у місцях, які відсікають нестабільний верстат від стабільних, з метою пом'якшення впливу нестабільності верстату на функціонування цілої лінії (рис. 2.).

№ експер	Верстат №1	Буфер 1	Верстат №2	Буфер 2	Верстат №3	Буфер 3	Верстат №4	Буфер 4	Верстат №5	Фактична продуктивність лінії PF	Графіки залежностей PF
1	H	P	C		C		C		C	0,9720	
2	H		C	P	C		C		C	0,7172	
3	H		C		C	P	C		C	0,7384	
4	H		C		C		C	P	C	0,7182	
5	C	P	H		C		C		C	0,7490	
6	C		H	P	C		C		C	0,7280	
7	C		H		C	P	C		C	0,7407	
8	C		H		C		C	P	C	0,7196	
9	C	P	C		H		C		C	0,7492	
10	C		C	P	H		C		C	0,7323	
11	C		C		H	P	C		C	0,7408	
12	C		C		H		C	P	C	0,7199	
13	C	P	C		C		H		C	0,7492	
14	C		C	P	C		H		C	0,7322	
15	C		C		C	P	H		C	0,7470	
16	C		C		C		H	P	C	0,7199	
17	C	P	C		C		C		H	0,7494	
18	C		C	P	C		C		H	0,7324	
19	C		C		C	P	C		H	0,7472	
20	C		C		C		C	P	H	0,9442	
21	H	P	C		C		C		C	0,9720	
22	C	P	H	P	C		C		C	0,9716	
23	C		C	P	H	P	C		C	0,9544	
24	C		C		C	P	H	P	C	0,9563	
25	C		C		C		C	P	H	0,9442	

Рис. 2. Дослідження місця розміщення розриву у лінії (P), в якій всі верстати стабільні - C, тільки один нестабільний - H (K=1).

Для технологічних ліній, в яких всі верстати нестабільні, лише один стабільний, збільшувати міжопераційні запаси доцільно посередині лінії (рис. 3.). При цьому фактична продуктивність ліній спостерігається найвищою.

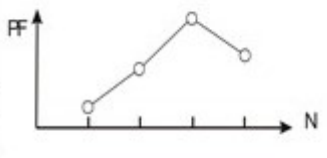
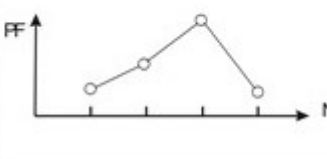
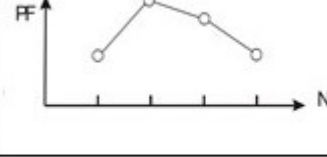
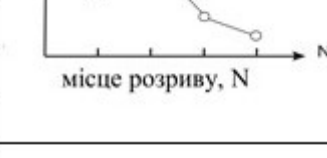
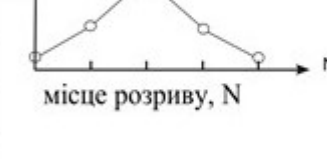
№ експер	Верстат №1	Буфер 1	Верстат №2	Буфер 2	Верстат №3	Буфер 3	Верстат №4	Буфер 4	Верстат №5	Фактична продуктивність лінії PF	Графіки залежностей PF
1	С	Р	Н		Н		Н		Н	0,5161	
2	С		Н	Р	Н		Н		Н	0,5739	
3	С		Н		Н	Р	Н		Н	0,7344	
4	С		Н		Н		Н	Р	Н	0,7069	
5	Н	Р	С		Н		Н		Н	0,5563	
6	Н		С	Р	Н		Н		Н	0,5720	
7	Н		С		Н	Р	Н		Н	0,6091	
8	Н		С		Н		Н	Р	Н	0,5537	
9	Н	Р	Н		С		Н		Н	0,5563	
10	Н		Н	Р	С		Н		Н	0,6153	
11	Н		Н		С	Р	Н		Н	0,6044	
12	Н		Н		С		Н	Р	Н	0,5615	
13	Н	Р	Н		Н		С		Н	0,5509	
14	Н		Н	Р	Н		С		Н	0,6077	
15	Н		Н		Н	Р	С		Н	0,5599	
16	Н		Н		Н		С	Р	Н	0,5707	
17	Н	Р	Н		Н		Н		С	0,5571	
18	Н		Н	Р	Н		Н		С	0,5995	
19	Н		Н		Н	Р	Н		С	0,5464	
20	Н		Н		Н		Н	Р	С	0,5106	
21	С	Р	Н		Н		Н		Н	0,5161	
22	Н	Р	С	Р	Н		Н		Н	0,5708	
23	Н		Н	Р	С	Р	Н		Н	0,6607	
24	Н		Н		Н	Р	С	Р	Н	0,5494	
25	Н		Н		Н		Н	Р	С	0,5106	

Рис. 3. Дослідження місця розміщення розриву у лінії (Р), в якій всі верстати нестабільні – Н ($K=1$), тільки один стабільний – С.

Дослідження показують, що підвищення стабільності устаткування під час оброблення заготовок значно підвищує продуктивність автоматичних ліній [3]. Продуктивність автоматичної лінії найбільше зростає в межах параметра Ерланга від 1 до 20. Подальше підвищення коефіцієнта стабільності роботи устаткування (для $K > 20$) є малоефективним, оскільки збільшення показника фактичної продуктивності є незначним. Досягнення високої стабільності операцій ($K > 30$) дає максимальне значення зростання продуктивності автоматичної лінії.

Висновки. 1. Для автоматичних ліній, у яких всі верстати мають високий ступінь стабільності, лише один низький, через технологічні вимоги, міжопераційні запаси або технологічні розриви доцільно виконувати повністю відтинаючи нестабільний верстат від стабільних, щоб компенсувати дію стохастичних факторів на ефективність функціонування лінії. 2. Для автоматичних ліній, у яких всі верстати мають низький ступінь стабільності ($K=1$), високостабільний

верстат для підвищення ефективності доцільно розміщувати у центрі лінії. Збільшувати міжопераційні запаси, з метою пом'якшення впливу нестабільності роботи верстатів необхідно також у центрі технологічної лінії.

Література

1. **Dudyuk D.L., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya., Orikhovsky R.Ya. et al.** (1996). *Imitatsiynе modelyuvannya hnuchkykh avtomatyzovanykh liniy u lisovyrobnychomu kompleksi* [Simulation modeling of flexible automated lines in the forestry complex]. Monograph. – Kyiv. – 140 p., (in Ukrainian).
2. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1992). *Elementy teoriiy avtomatychnykh liniy* [Elements of the theory of automatic lines]. Textbook. – Kyiv. – 192 p., (in Ukrainian).
3. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1995). *Modelyuvannya i optymizatsiya tekhnologichnykh potokiv lisopererobky* [Modeling and optimization of technological flows of forest processing]. Textbook. – Kyiv. – 416 p., (in Ukrainian).
4. **Gayda S.V.** (2009). The effective use of post-consumer wood is basis for diminishing of CO₂-emission // *Scientific Herald*. – Lviv: UNFU, 19(14).72-89. (in Ukr.).
5. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.
6. **Gayda S.V.** (2012). Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 38: 112-150.
7. **Gayda S.V.** (2013). Techniques for utilization of post-consumer wood in the production of fuel pellets and briquettes. *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
8. **Gayda S.V.** (2013). Technologies and recommendations on the utilization of post-consumer wood in woodworking industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 39(1).48-67 (in Ukrainian).
9. **Gayda S.V.** (2013). The technological solutions for recycling of post-consumer wood. *Proceedings of I International Interdisciplinary Scientific Conference Formation of stable outlook as the basis of sustainable development* (Ukraine, Lviv, 14-16 March 2013) UNFU: Lviv, 5-11.
10. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини [Development of technology for the production of fuel pellets based on the energy potential of used wood]. *Scientific Bulletin of UNFU* 23.14:83-93. (in Ukrainian).
11. **Gayda S.V.** (2014). Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 40:41-51.
12. **Gayda S.V.** (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood. *Actual problems of forest complex* 43:175-179, (in Russian).
13. **Gayda S.V.** (2015). Моделювання властивостей столярних плит із вживаної деревини на основі методу кінцевих елементів / Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 41:39-49. doi: <https://doi.org/10.36930/42154106>
14. **Gayda S.V.** (2016). *Ekologo-tekhnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3).15-22 (in Russian).
15. **Gayda S.V.** (2016). *Formoustoychivost' stolyarnykh плит iz vtorichno ispol'zuyemoy drevesin* [A form of stability of blockboards made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 46:148-153, (in Russian).
16. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
17. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyiny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).
18. **Gayda S.V.** (2017). *Tekhnologiya i svoystva mebel'nogo shchita iz vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny* [A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 48:34-38, (in Russian).
19. **Gayda S.V.** (2017). Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини / *Vykorystannya nechitkykh ekspertnykh system dlya pidtrymky*

pryynyattya rishen' v protsesi sortuvannya vzhivanoyi derevyny [Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>

20. **Gayda S.V.** (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhivanoyi derevyny yalytsi z vikom* [The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:58-72 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>

21. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).

22. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2013). Технология очистки вторично используемой древесины иглофрезерными станками [The technology of cleaning recycled wood with needle milling machines] // Actual problems and prospects of the development of LPK: materials II NTK., Sept. 9-11, 2013 – Kostroma. – P. 36-39.

23. **Gayda S.V., Maksimiv V.M., Kiyko O.A., Ferenc O.B.** (2013). Залишки деревини та деревина після споживання. Класифікація. Терміни та визначення [Wood residues and post-consumer wood. Classification. Terms and definitions] / Agreement No. 08.24-11-1: draft international standard ISO. – Lviv: NLTU of Ukraine – 53 p. (in Ukrainian).

24. **Gayda S.V., Voronovich V.V.** (2011). *Porivnyal'niy analiz gnuttya vzhivanoї derevini riznikh porid ta vikovykh kategoriy* [Comparative analysis of bending particularities for various post-consumer wood species and age categories]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1). 84-88 (in Ukrainian).

25. **Gayda S.V., Voytovych I.G.** (2017). Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated. *Bulletin of KhNTUA*, 189, 62-70 (in Ukrainian).

UDC 658.527.011.56

Assoc. prof. R.Ya. Orikhovskyy – UNFU

The influence of stability of technological operations on the efficiency of functioning of automatic lines in woodworking

The Article studies the influence of stability of technological operations and the location of machines with different stability and reliability on the efficiency of automatic lines. With the help of simulation modeling of the processes of functioning of automatic lines, which consist of machines of different productivity, the influence of the stability of the equipment on the productivity of the production system in stochastic conditions is investigated. Improving the productivity of automatic lines is carried out by developing optimal equipment layout schemes, structural and parametric optimization and reservation. The aim of the study is to establish the nature of the impact of the stability of technological operations on the performance of the automatic line in the event of a random change in the duration of technological operations. In stochastic operations research problems, it is too difficult to obtain analytical dependences of the qualitative indicators of the technological process on the operating conditions of the equipment. To achieve this goal, a universal method of statistical modeling is used, which simulates the process of automatic lines on a computer. Detailed studies of the process of automatic lines with stochastic duration of technological operations provide an opportunity to scientifically substantiate the experience of woodworking equipment and create conditions for designing optimal automated systems in terms of productivity, reliability and cost-effectiveness and identify ways to increase productivity of automatic lines by technical and organizational measures. Composing automatic lines with new high-performance machines is one of the ways to improve the productivity of lines, but not always economically justified, because it does not eliminate, but only weakens the influence of random factors on the efficiency of the technological process and creates more complex stochastic factors. One of the ways to solve this problem is to ensure maximum rhythm of operation of existing machines in automatic lines by increasing the stability of the equipment.

Keywords: simulation modeling, Erlang parameter; stability of work; stochastic conditions, structural-parametric optimization of technological lines, productivity of automatic line.